Aus der Zahnklinik der Universität Würzburg.

Entwicklungsgeschichtliche Studien über die erste Ablagerung der Hartsubstanz der Zähne

Inaugural-Dissertation

verfaßt und einer

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Bayerischen Julius-Maximilians-Universität Würzburg

zur

Erlangung der Doktorwürde der Zahnheilkunde

vorgelegt von

Franz Albert Weismantel

Zahnarzt

aus Oberndorf, Kreis Gelnhausen

1 9 3 6

Dissertationsdruckerei und Verlag Konrad Triltsch, Würzburg

Referent:

Prof. Dr. Münch.

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meinen lieben Eltern
in Dankbarkeit gewidmet

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549802_0017

Entwicklungsgeschichtliche Studien über die erste Ablagerung der Hartsubstanz der Zähne.

Die Forschungsergebnisse über die erste Ablagerung der Hartsubstanz der Zähne sind sehr mannigfaltig. Die vielen Theorien der einzelnen Forscher sprechen für die Schwierigkeit des Gegenstandes. Durch die Entdeckungen über die mitotischen Kern- und Zellteilungen in ihren Beziehungen zur Gewebelehre trat die Forschung über dieses Gebiet der Zahnheilkunde in ein neues Stadium. Schon C a n a l i s hat im Jahre 1886 die wichtige und bahnbrechende Behauptung aufgestellt, daß „Zellvermehrung einerseits, Gewebsdifferenzierung und Wachstum des differenzierten Gewebes andererseits voneinander unabhängige Prozesse sind". Durch die grundlegenden Erkenntnisse über die Zellteilung, sowie besonders auch durch die technischen und chemischen Hilfsmittel hat die neuere Wissenschaft wenigstens teilweise eindeutige Ergebnisse erzielt. Aufgabe vorliegender Arbeit ist, an Hand von mikroskopischen Präparaten, sowie einigen Mikrophotographien und literarischen Werken einen Überblick über dieses schwierige Gebiet der Entwicklungsgeschichte der Zähne zu geben.

Zwischen dem 3. und 7. Monat des embryonalen Lebens finden wir bei allen Milchzähnen die beginnende Ablagerung der Hartsubstanzen. Wenden wir uns zunächst der obersten Schicht, dem Schmelz zu. Bei Vorhandensein einer dünnen, noch unverkalkten Dentinschicht zeigt sich uns der Anfang der Schmelzbildung. Er wird gebildet von den Epithelzellen, die auch Ameloblasten genannt werden. Es sind dies langgezogene, zylindrische Zellen, die eine Länge von 40 μ erreichen. Ihre Form ist rundlich bis sechseckig und der Kern ist langoval. Die zwischen den Zellen liegende Interzellularsubstanz ist von Zellbrücken durchzogen. Nach dem stratum intermedium und nach dem Dentin zu ist die Interzellularsubstanz durch ein Schlußleistennetz abgegrenzt. Die Schmelzbildner empfangen ihre Baustoffe aus der Schmelzpulpa. Bei der Schmelzbildung nun wachsen pinselartige Fortsätze aus dem Teil der Ameloblasten, der dem Dentin zugekehrt ist. Es sind dies die T o m e s schen Fortsätze. Zwischen ihnen liegt eine Zwischensubstanz. Man nimmt an, daß die T o m e s schen Fortsätze das Grundgerüst der Schmelzprismen abgeben, und daß sich aus der Zwischensubstanz die interprismatische Substanz des Schmelzes bildet. Die erst abgelagerte Schicht der Ameloblasten wird auch Urschmelz genannt und ist mehr homogen. Aus diesem Urschmelz sieht man allmählich nach dem Dentin zu das Bild des fertigen

Schmelzes hervorgehen. Die Homogenität des Urschmelzes ist sehr in Frage gestellt und man glaubt, daß der Grundaufbau schon ganz dem des fertigen Schmelzes entspricht. Der einzige Unterschied ist, daß die Überschwemmung mit Kalksalzen eine gleichmäßige ist und deshalb die Differenzierung im Urschmelz nicht festzustellen ist. Über die Verkalkung des Urschmelzes ist man noch sehr im Zweifel. Es herrscht allgemein die Annahme, daß die Kalksalze dem schmelzbildenden Gewebe gelöst in Gewebsflüssigkeit dargereicht werden und die Ameloblasten den Anbau der Kalksalze nur veranlassen. Die interprismatische Substanz verkalkt weniger als die Prismen, da sie vor allem die organische Substanz des Schmelzes enthält. Mit weiterer Ausbildung des Schmelzes gehen die Ameloblasten nach dem äußeren Schmelzepithel zurück, und die Schmelzpulpa schwindet allmählich. Ist die Schmelzbildung beendet, so bilden die Ameloblasten das Schmelzoberhäutchen.

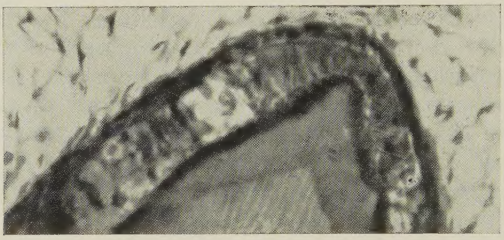

Bild 1: Erste Schmelzablagerung.

Über die feineren Vorgänge der Schmelzbildung gehen die Ansichten sehr auseinander. Hunter, Raschkow und Purkinje betrachteten den Schmelz als Ausscheidungsprodukt eines Häutchens, der membrana adamantina. Nach diesen Autoren sind die Schmelzzellen als Drüsen aufzufassen, deren Sekret die Schmelzprismen sind. Diesen Autoren trat Schwann entgegen, der zwei Lösungen aufwarf. Entweder sind die Schmelzprismen die continuierliche Fortsetzung der Prismen der Schmelzmembran oder die Zellen der Schmelzmembran trennen sich von dieser und verwachsen mit dem schon gebildeten Schmelz. Schwann trat mehr für die zweite Lösung ein. Markusen vertrat die direkte Umwandlung der Schmelzzellen in Schmelzprismen. Huxley hielt das als erstes Differenzierungsprodukt auftretende cuticulare Häutchen für die membrana praeformativa. Daher die Annahme Huxleys, daß der Schmelz unter der membrana praeformativa entstehe, die zum Schmelzoberhäutchen werde. Die am zentralen Ende der Schmelzzellen als das Huxleysche Häutchen aufliegende Schicht stellt das früheste Stadium der Schmelzbildung dar, wie schon Tomes, Koelliker und Lent annahmen. Später kommt es zur Differenzierung der Prismenanlagen bzw. der Tomesschen Fortsätze.

Erst später erkannte man, daß das Zylinderepithel ausschließlich für die Schmelzbildung verantwortlich ist. Koelliker, Lent und Waldeyer haben den Beweis erbracht, daß der Schmelz unmittelbar von den Schmelzzellen gebildet wird. Nach Koelliker und Lent bleiben die Zellen dabei unverändert. v. Ebner hat sich Koellikers Ansicht am meisten angeschlossen, wenn er auch seinen Ausdruck der Secretion als nicht ganz zutreffend verwirft. Beide vertreten die Ansicht, daß der Tomessche Fortsatz zuerst verkalkt und daß die Ausbildung der Schmelzprismen von der Achse der Prismen zur Peripherie fortschreitet.

Nach Tomes gehen die Schmelzprismen aus der Verknöcherung der Schmelzzellen selbst hervor. In seinem „System der Zahnheilkunde" 1861 beschreibt er die Schmelzbildung folgendermaßen: „Das innere Ende der Säulen (Schmelzzellen) verkalkt nicht gleichmäßig durch seine ganze Dicke, sondern die äußere Hülle nimmt die Kalksalze zuerst auf und gleichzeitig verbinden sich die Säulen seitlich." Er leugnet eine Kittsubstanz zwischen den Prismen. Nach ihm geht die Verkalkung von außen nach innen und der Fortsatz der Schmelzzelle verkalkt zuletzt. Waldeyer bestätigt Tomes Ansicht und behauptete ebenfalls, daß die Schmelzzellen zuerst verkalken. In Präparaten fand er, daß jede Schmelzzelle eine Membran besäße, die die beiden schmalen Enden freiließe. Die Membran verglich er mit einem Schlauch, aus dem sich der Inhalt herausdrücken ließe. Waldeyer nimmt an, daß sich während der Schmelzbildung neue Schmelzzellen bilden von den Zellen des stratum intermedium, und daß sich ganze Schmelzzellen in Schmelzprismen umwandeln. Dies ist nach v. Ebner nicht der Fall. Wenn sich mit Zunahme der Schmelzdicke die Oberfläche vergrößert, so ist das nach v. Ebner so zu erklären, daß der Querdurchmesser der schmelzbildenden Zellen zunimmt, ohne daß sich neue Zellen einschieben. Der Ansicht John Tomes, Waldeyers und in neuester Zeit Ch. Tomes, daß die Schmelzprismen von außen nach innen und der Tomessche Fortsatz zuletzt verkalke, trat v. Ebner 1891 in „Scheffs Handbuch der Zahnheilkunde" entgegen. Er schildert den Vorgang der Schmelzbildung folgendermaßen: „Das Protoplasma der Schmelzzellen wandelt sich an seinem inneren Ende in eine homogene Masse um, die zunächst wie ein Kutikularsaum der Zelle erscheint, bald aber mit der homogenen, von den Nachbarzellen gebildeten Masse zusammenfließt. Während dieses Prozesses sondert sich aber gleichzeitig in der unmittelbaren Fortsetzung des Protoplasmakörpers eine faserig erscheinende Substanz ab, die alsbald in der Weise provisorisch verkalkt, daß unter Auftreten von körnigen Ablagerungen, welche dann zusammenfließen, ein junges Schmelzprisma zustande kommt. Zwischen den Prismen bleibt aber noch reichliche homogene, unverkalkte Zwischen- oder Kittsubstanz, welche allmählich spärlicher wird, wenn nachträglich die Schmelzprismen, die anfänglich relativ dünn sind,

sich noch verdicken." Die Schmelzzellen wachsen also an ihrem inneren Ende weiter bis zur Vollendung der Schmelzbildung. Das äußere Ende jedoch, das den Kern enthält, assimiliert beständig Stoffe, die aus der intermediären Schicht und aus der Schmelzpulpa entnommen werden. Jede Schmelzzelle arbeitet von Anfang bis zum Ende der Schmelzbildung an einem und demselben Schmelzprisma, weshalb die Prismen durch die ganze Schmelzdicke gehen. Die zuerst auftretende Dentinschicht wird von dem sich bildenden Schmelz stark verändert und resorbiert. Auf der ersten verkalkten Dentinlage ruhen die Schmelzzellen. Die anfangs glatte Oberfläche des Dentins wird von dem sich bildenden Schmelz von Grübchen durchsetzt und die ursprüngliche Oberflächenschicht des Zahnbeins verschwindet. Die Prismen sind am Anfang dünn und weich. Erst wenn der Schmelz eine Dicke von 200 bis 300 μ erreicht hat, ist er am Zahnbein fast völlig ausgebildet. Mit fortschreitender Verkalkung nehmen die Prismen an Dicke zu, während die Kittsubstanz schwindet. Die organische Grundsubstanz des Schmelzes geht mit zunehmender Schmelzbildung zurück. Die Verkalkung der Kittsubstanz tritt zuerst in Form von Interkolumnarbrücken der Prismen auf, ferner auch in Form von selbständig verkalkenden Lamellen zwischen den Prismen. Nach v. Ebner läßt sich an den Tomesschen Fortsätzen direkt beobachten, daß an ihnen die Kalkablagerung zuerst in Form von Körnern auftritt. Die Verkalkung schreitet also vom Prismenquerschnitt gegen die Peripherie fort. Deshalb sind junge Schmelzprismen dünn, leicht isolierbar und durch viel unverkalkte Substanz voneinander getrennt. Bei älterem Schmelz sind dicke Prismen und wenig Zwischensubstanz zu beobachten.

Eine besondere Ansicht über die Schmelzbildung veröffentlichte 1917 Studnicka. Schon vor Beginn der Schmelzbildung setzen sich nach ihm die Schmelzzellen mit dem Zahnbein in Verbindung durch zarte Büschel von Protoplasmafäden. Quere Verbindungen dieser Fäden bilden eine hautartige Lage, die das Huxleysche Häutchen darstellt und Ausgangspunkt des Schmelzes ist. Studnicka betrachtet den Schmelz als ein exoplasmatisches, lebendes Produkt der Schmelzzellen, dem von den Schmelzzellen ausgeschiedene Bausekrete beigemischt werden. Zu Büscheln vereinigte feine Fäden der Schmelzzellen stellen die Tomesschen Fortsätze dar. Die Schmelzprismen bilden sich im Anschluß an das Huxleysche Häutchen in Form von Säckchen, die als besondere Scheiden die Prismen umgeben. Studnicka betrachtet das Praemail, also das der Prismenentwicklung vorangehende Bildungsprodukt der Schmelzzellen als eine lebende, von Bausekreten erfüllte Substanz, in der sich die Prismen differenzieren. Diese letztere Ansicht vertrat schon Williams im Jahre 1895. Er leitet die Ansicht aus der Prismenbildung bei Muschelschalen her, wobei die Prismen aus einer formlosen Ausscheidung der Bildungszellen hervorgehen. Die Schmelzbildung erklärt er als eine Abscheidung von verkalkenden Schmelzkügelchen aus

den Schmelzzellen, die dann hintereinander zu Prismen verschmelzen. Der Autor spricht den Schmelzprismen eine direkte Beziehung zu einzelnen Schmelzzellen ab. Die Tomes schen Fortsätze sind nach ihm bedeutungslose Kunstprodukte. Der vitale Vorgang bleibt auf die Ausscheidung beschränkt, die Prismenbildung jedoch ist ein reiner Kristallisationsvorgang, wie Biedermann 1902 behauptete. Nach v. Ebner trifft das jedoch beim Schmelz nicht zu. An Rattenzähnen hat er nachgewiesen, daß je eine Schmelzzelle mit je einem Prisma im Zusammenhang steht. Eine eigentümliche Ansicht über die Schmelzbildung vertrat noch Bödeker in seiner Anatomie und Pathologie der Zähne. Nach diesem Autor verwandelt sich das innere Epithel zuerst in Markkörperchen, woraus die Ameloblasten hervorgehen. Bevor sich diese in Schmelz verwandeln, zerfallen sie noch einmal in Markgewebe. Bödekers Ansicht beruht nach Walkhoff darauf, daß er mit Chromsäure lange behandelte Präparate gebrauchte, wodurch die täuschenden Veränderungen an den Präparaten hervorgerufen wurden.

Große Verdienste auf diesem Forschungsgebiet hat sich Otto Walkhoff erworben. Er hat den Schmelz in möglichst natürlicher Form mit ultraviolettem Licht untersucht und zahlreiche eindeutige Ergebnisse gefunden. Zunächst hat er unzweifelhaft festgestellt, daß nur eine Lage Schmelzzellen den Schmelz in seiner ganzen Entwicklungsdauer formiert. Die Kerne rücken vor der Schmelzbildung nahe an das stratum intermedium. Die Grenzschicht gegen das Dentin, die membrana limitans, bleibt auch bei der Schmelzbildung scharf abgegrenzt und ausgeprägt. Walkhoff hat festgestellt, daß die jüngste von ihm als Urschmelz bezeichnete Schmelzschicht, die den Tomes schen Fortsatz umgibt, das Ultraviolettlicht fast vollständig zurückhält, die im Wabenwerk liegenden Tomes schen Fortsätze als reines Protoplasma das ultraviolette Licht bequem durchlassen. Der Tomes sche Fortsatz erscheint schmäler als der um ihn neu gebildete Schmelz, der in Form einer Kuppe über den Fortsätzen der Ameloblasten sitzt. Der Urschmelz ist nur ein Ausscheidungsprodukt der Schmelzzellen bzw. der Tomes schen Fortsätze, da die Membrana limitans auch während der Weiterentwicklung des Schmelzes besteht und die Tomes schen Fortsätze nur durch Löcher in ihr austreten. Die zuerst vereinzelt erscheinenden Schmelzkuppen verschmelzen sehr bald miteinander und bilden eine scheinbar formlose Masse. Walkhoff hat mit ultraviolettem Licht nachgewiesen, daß die Masse nicht formlos ist, wie man bisher geglaubt hat, sondern schon sehr zarte Begrenzungslinien hat. Der Abstand der Linien entspricht der Breite der Ameloblasten. Außerdem bemerkt Walkhoff noch eine äußerst feine Schicht Interzellularsubstanz. War man bis auf Walkhoff der Ansicht, daß die Hauptmasse, in der die Tomes schen Fortsätze eingelagert wären, eine Kittsubstanz sei, so hat dieser Forscher den Beweis erbracht, daß das nicht der Fall sei. Eine einfache form-

lose Kittsubstanz erscheint im Ultraviolettlicht heller als die Zelle. Das Ultraviolettlicht wird aber bei der ersten Anlage des Schmelzes fast vollkommen absorbiert. Die „reichliche protoplasmatische Kittsubstanz" v. Ebners ist nach Walkhoff das erste Ausscheidungsprodukt der Tomes schen Fortsätze in Form von Kuppen, also wahres Schmelzgewebe. Dieser Urschmelz hält das Ultraviolettlicht sehr zurück und hat eine große Menge koloidaler Substanz. Die oft ohne Kuppenbildung verlaufende Bildung des Urschmelzes ist so zu erklären, daß das zwischen den Tomes-schen Fortsätzen liegende Ausscheidungsprodukt ohne Hineinbeziehen der Interzellularsubstanz der Ameloblasten sofort miteinander verschmilzt. Bald tritt nun eine Differenzierung des Ausscheidungsproduktes der Ameloblasten auf. Walkhoff nennt diese etwas hellere Zone „Kortikalschicht" und die zwischen ihnen liegende Masse „Zentralkörper" der Schmelzzellen. Bei Breiterwerden der Kortikalschicht tritt eine deutliche Querstreifung auf, die hervorgerufen wird durch die Verbindungsfäden zwischen den Zentralkörpern zweier Prismen. „Diese ganz allmählich sich breiter entwickelnde Kortikalschicht bildet diejenige Masse, welche als sogenannte Kittsubstanz der fertigen verkalkten Schmelzprismen beschrieben ist." Nach Walkhoff haben wir nunmehr drei Gewebselemente:

„1. Tomes sche Fortsätze,
2. Für Ultraviolettlicht undurchlässige Schmelzsubstanz (Zentralkörper),
3. Für Ultraviolettlicht durchlässige Schmelzsubstanz (Kortikalschicht)."

Die ursprünglich reichliche Kittsubstanz v. Ebners ist also der von Walkhoff benannte Urschmelz. Erst allmählich entwickelt sich aus dem schon neu gebildeten Schmelzgewebe eine neue Grenzschicht der Schmelzprismen. Die sich weiter entwickelnden Schmelzsäulen tragen noch lange in ihrem Zentrum die Tomes-schen Fortsätze.

Letztere vermitteln die Kalkausscheidumngen seitens der Ameloblasten in den einzelnen Schmelzprismen. Diese Kalkablagerung geht entweder gleichmäßig oder absatzweise vor sich. Bei ersterer entsteht ein sehr harter und bei letzterer ein sehr weicher Schmelz. Die Querstreifung der Schmelzprismen ist dadurch hervorgerufen, daß bei „Konsolidierung der Schmelzprismen absatzweise eine Substanz zwischen geschoben erscheint, die mit der Kortikalschicht vollkommen sowohl physikalisch wie chemisch identisch ist". Der Urschmelz erscheint also im Ultraviolettlicht tief dunkel und vollkommen homogen. Eine epitheliale protoplasmatische Kittsubstanz, die das Ultraviolettlicht mit Leichtigkeit durchläßt, ist also keinesfalls im Urstadium der Schmelzentwicklung vorhanden. Die sich allmählich entwickelnde äußere Schicht wird im Gegensatz zum Zentralkörper für das Ultraviolettlicht mehr durchlässig. Diese sich neu formierende und breiter

werdende Kortikalschicht läßt nun das ganze Schmelzgewebe heller erscheinen. Die Kortikalschicht verkalkt nicht. Der Zentralkörper jedoch nimmt immer mehr Kalksalze von den Tomesschen Fortsätzen auf und es entstehen die polygonalen Formen der Schmelzsäulen. Die Tomesschen Fortsätze sind also die Kanäle für die abzulagernden Kalksalze im Zentralkörper. Von der Menge der Kalkablagerung hängt nun die Dicke der mehr organischen Kortikalschicht und die Härte des Schmelzes ab. Die Tomesschen Fortsätze, die noch lange Zeit unmittelbare Bestandteile des Zellprotoplasma der Schmelzzellen bleiben, sind also „die Lebensträger und Vermittler der Baustoffe für die zu entwickelnden Bausteine in Gestalt der Schmelzsäulen".

Diesen Ergebnissen über die Schmelzbildung, die Prof. Walkhoff in unermüdlicher Forschungsarbeit gefunden hat, schließe auch ich mich an, da mir durch die Zahl der Versuche und die Forschungsmethode, sowie durch die Schlagkraft der Beweisführung des Forschers der Vorgang der Schmelzablagerung am besten bewiesen zu sein scheint.

Das Dentin, das die Hauptmasse des Zahnkörpers darstellt, entsteht als erste der drei Hartsubstanzen. Es wird gebildet von der Zahnpapille, also dem Teil des Zahnkeimes, der zur späteren Pulpa des fertigen Zahnes wird. Die Bindegewebszellen, die speziell an der Bildung des Dentins beteiligt sind, werden auch Odontoblasten genannt. Es sind walzenförmige Gebilde von fast gleicher Größe wie die Ameloblasten. Ihr Kern liegt zentral. Unmittelbar vor Beginn der Hartsubstanzbildung sind sie auf der Höhe ihrer Entwicklung. Sie haben keinen größeren protoplasmatischen Zelleib, sondern bestehen fast nur aus einem mit vielen Granulis versehenen Kern. Sehr zarte Fortsätze gehen von ihnen in die umliegende Interzellularsubstanz. Bald vermehren sich die Bindegewebszellen auf der Höhe der Zahnpapille und ordnen sich nebeneinander. Ihre Längsachse nimmt eine senkrecht zum Schmelzorgan verlaufende Richtung und die Zellen produzieren einen walzenförmigen Protoplasmakörper in Richtung gegen das Schmelzorgan. Dieser neugebildete Protoplasmakörper schiebt sich in die strukturlose Zwischensubstanz und läßt den Kern am zentripedalen Ende der Zelle zurück. Die Zelle wird nun zum Zahnbeinbildner, zum wahren Odontoblast. Zwischen den Odontoblasten hindurch treten aus der Pulpa spiralenförmig gewundene Fibrillenstränge, die sich auffasern und wieder verbinden. Die Odontoblastenfortsätze wachsen ebenfalls und es bildet sich das Prädentin. Schicht für Schicht werden nun die Kalkmassen abgelagert.

Über die feineren Vorgänge bei der Dentinbildung ist lange Jahre gestritten worden. Zuerst betrachtete man es als ein Umwandlungsprodukt, dann als ein Secretionsprodukt der Odontoblasten. Dazu kam noch die Theorie v. Korffs. Grundlegend

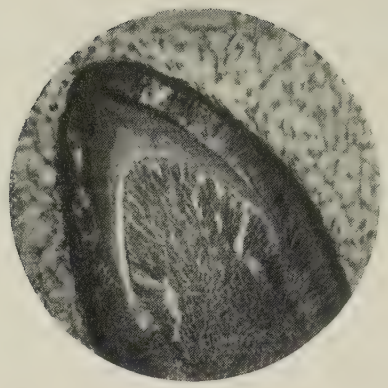

Bild 2: Beginnende Dentinablagerung.

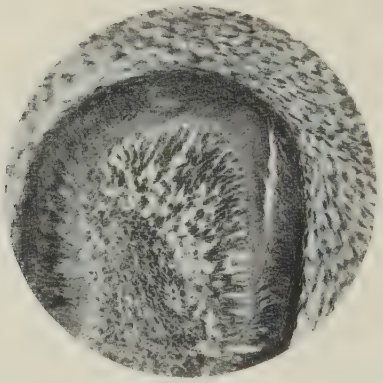

Bild 3: Vorgeschrittene Dentinablagerung mit aufliegender dünner Schmelzschicht.

für die Beantwortung der Frage waren Waldeyers Veröffentlichungen, der die peripher gelegenen Zellen des Zahnkeimes = Odontoblasten als die Zahnbeinbildner bezeichnete. In der Zeitschrift für rationelle Medizin 1865 sagte dieser Autor: „Die Dentinbildung besteht in einer Umwandlung eines Teiles des Protoplasmas der Elfenbeinzellen in leimgebende Substanz mit nachfolgender Verkalkung der letzteren, wobei der andere Teil des Zellprotoplasmas in Form weicher Fasern in der erhärtenden Masse zurückbleibt." Hiermit behauptet Waldeyer, daß die Zellen sich in Grundsubstanz umwandeln. Demgegenüber behauptet der Histologe Koelliker, daß die Zahnbeingrundsubstanz eine Ausscheidung der Odontoblasten sei, als deren Ausläufer die Tomesschen Fasern anzusehen seien. Weiter sagt Koelliker im Gegensatz zu Waldeyer, daß dieselben Odontoblasten

während der ganzen Zahnbeinbildung ihre Funktion als Zahnbeinbildner ausüben. Waldeyer hat sich später Koellikers Ansicht angeschlossen. Diesen Theorien stellte v. Ebner eine neue Theorie gegenüber, die er kurz so formuliert: „Die Grundsubstanz des Zahnbeins mit ihren leimgebenden Fibrillen und den weiteren Differenzierungen geht aus einer Umbildung von lebendem Protoplasma hervor, ohne daß einmal ein Stadium eines flüssigen daher wirklich formlosen Sekrets existiert."

Nach v. Ebner geht die Zahnbeinbildung so vor sich, daß sich zuerst die Raschkowsche membrana praeformativa als dünne, homogene Grenzschicht zwischen Zahnpapille und innerem Schmelzepithel bildet. Sie ist nach v. Ebner die erste Spur des sich bildenden Zahnbeins. Sie wandelt sich direkt in die oberflächlichste Schicht des Zahnbeins um und unterscheidet sich besonders dadurch vom Dentin, daß sie keine Zahnkanälchen und, wie besonders v. Ebner nachwies, keine Fibrillen hat. Im Gegensatz zu dieser membrana praeformativa erscheint das im Anschluß daran sich bildende Dentin parallel zur Oberfläche fibrillär. Es zeigt weiter die Tomesschen Fasern und damit die ersten Anlagen der Zahnkanälchen. Diese Ausscheidung von Prädentin erfolgt zunächst an der äußeren Oberfläche, dann auch an den Seitenflächen der Odontoblasten. Die Ausscheidung kann, unter gleichzeitiger Beteiligung der Pulpazellen, bis in die oberflächliche Schicht des Zahnbeins unter den Odontoblasten in Form von Fasern (v. Korff) sich fortsetzen. Durch Ausscheidung der leimgebenden Fibrillen wandelt sich das Prädentin in unverkalktes Dentin. Die Fibrillen der Grundsubstanz werden nach v. Ebner nicht direkt als solche in den Zellen gebildet, sondern gehen aus einer von den Zellen ausgeschiedenen Substanz hervor. Die Bildung der Fibrillen hat v. Ebner so erklärt, daß „die leimgebende Substanz von dem Protoplasma der Bildungszellen zunächst als nicht fibrilläres Produkt hervorgeht, das erst unter dem Einfluß des während der Ausscheidung herrschenden Drukkes oder Zuges zu bestimmt orientierten Fibrillen sich umwandelt". Erst viel später werden die v. Korffschen Fasern zwischen den Odontoblasten in die Zahnbeinbildung eingezogen. Bei weiterer Ablagerung von Dentin rücken die Odontoblasten mehr vom Schmelzepithel ab, während die v. Korffschen Fasern in das sich verdickende Zahnbein hineingezogen werden. Hat das Dentin eine Dicke von 40 μ erreicht, so verschwinden die v. Korffschen Fasern allmählich. Bei der Entwicklung des Dentins haben wir zuäußerst eine verkalkte, dann eine unverkalkte Schicht und zuinnerst eine feine Prädentinlage. Es ist zunächst weiches Prädentin, das dann festes Prädentin wird und die jeweilige innere Begrenzungsmembran des Zahnes darstellt. Bei Erscheinen der ersten Tomesschen Fortsätze sind noch keine Neumannsche Scheiden nachweisbar. Deshalb liegt das feste Prädentin „als durchlöcherte Haut den äußeren Enden der Odontoblastenkörper auf". Erst sekundär bilden sich dann die Neu-

mannschen Scheiden, die die Beteiligung der Tomesschen Fasern an der Prädentin- bzw. Zahnbeinbildung anzeigen. Diese Ansicht vertrat schon J. Tomes, da die Zahnkanälchen sekundär enger werden. Prof. Walkhoff und Neumann haben diese Ansicht bestätigt. Eine membrana praeformativa gibt es nur bei der ersten Prädentinlage. Dies ist dadurch bewiesen, daß mit beginnender Schmelzbildung an dem darunter liegenden Zahnbein Grübchen sichtbar werden und die Tomesschen Fortsätze bis zum Schmelz reichen, was beim Zahnbein im Wurzelteil nicht der Fall ist, da hier zeitlebens eine von Odontoblasten nicht durchsetzte Schicht bleibt. Die Verkalkung tritt stets später auf als die Bildung der Grundsubstanz. Sie erfolgt wie beim Knochen erst sekundär. Die jüngste, unmittelbar den Odontoblasten anliegende Schicht ist stets unverkalkt. Wedl und in neuerer Zeit Walkhoff haben nachgewiesen, daß im Bereich der Krone das zuerst gebildete Zahnbein sofort wieder zum Teil resorbiert wird. Solang noch keine Verkalkung eingetreten ist, findet man deshalb die Zahnbeinoberfläche glatt und gleichmäßig. Im verkalkten Teil dagegen sind Grübchen, die nach der Spitze des Zahnes deutlicher werden. An der schmelzfreien Wurzel fehlen die Grübchen und die homogene Oberflächenschicht bleibt erhalten. Die Ablagerung der Kalksalze erfolgt Schicht auf Schicht in dem Maße, wie die Dentinbildung fortschreitet, was schon J. Hunter an mit Krapp gefütterten Tieren nachgewiesen hat. Die Grenze zwischen verkalkten und unverkalkten Dentin zeigt keine glatte Fläche, sondern das verkalkte Zahnbein greift mit gewölbten bis halbkugeligen Vorsprüngen in das unverkalkte Dentin vor, was besonders bei den bleibenden Zähnen festzustellen ist. Es sind dies die nach Koelliker benannten Zahnbeinkugeln. Unverkalkte Stellen ergeben die Interglobularräume, die im Wurzelbereich die Tomessche Körnerschicht genannt werden. „Die regelmäßige Dentinbildung wird also nach v. Ebner bis zu Ende von denselben Odontoblasten besorgt, die an ihrem peripheren Ende fortwachsen. Sie bilden immer mehr Grundsubstanz und ihr zentrales, kerntragendes Ende nimmt fortwährend von der Pulpa Stoffe auf und assimiliert." Ist einmal die Dentinbildung im Gange, so ist an den Odontoblasten keine mitotische Kernteilung mehr zu finden, woraus v. Ebner schließt, daß keine Umwandlung ganzer Zellen in Grundsubstanz stattfindet.

Mit seinen Beweisführungen richtete sich v. Ebner besonders gegen v. Korff, der mit ihm jahrelang über die Entstehung der Zahnbeinsubstanz stritt. Der Ansicht v. Ebners, daß die äußeren protoplasmatischen Enden der Odontoblasten sich in eine homogene Masse umwandeln, deren mehrere zu der membrana praeformativa zusammenfließen, hält v. Korff die nach ihm als ihrem Entdecker benannten von Korrffschen Fasern als die Bildner der Zahnbeingrundsubstanz entgegen. Die Odontoblasten haben nach v. Korff nur die Aufgabe, ihre Fortsätze, die Tomesschen Fasern in die Dentinkanälchen abzugeben. Die erste

Dentinanlage ist nach diesem Forscher nicht homogen, sondern setzt sich aus Bindegewebsfibrillen der Pulpa zusammen. Die Fibrillen strahlen peripher nach der Oberfläche der Pulpa aus. „In der Zone der Elfenbeinzellen gehen die Fibrillen zunächst in die Zwischenräume zwischen den Elfenbeinzellen über und bilden intrazelluläre Stränge oder Fasern, die sich zwischen den peripheren Enden der Elfenbeinzellen in Fibrillen aufsplittern, die nun peripherwärts in die Fibrillen der Zahnbeingrundsubstanz übergehen."

Walkhoff hat nachgewiesen, daß in der ersten Dentinablagerung noch keine v. Korffschen Fasern zu sehen sind, was gegen die Theorie v. Korffs spricht. Studnicka als Anhänger v. Korffs unterscheidet Endoplasmazellen, eine primäre Grundsubstanz und die Bindegewebsfibrillen. Die Interfibrillärsubstanz ist von Anfang an da und exoplasmatischer Natur. Daß das Primäre bei der Dentinbildung kollagene Fibrillen sein sollen, ist nach Studnicka nicht der Fall. Nach ihm sind jedoch in reichem Maße radiäre, zu den Zahnkanälchen parallele Fibrillenzüge bei der ersten Dentinablagerung vorhanden, was er besonders an Silberpräparaten gefunden hat. V. Ebner erklärt die Ansichten v. Korffs und Studnickas als eine durch schiefe Schnittführung bedingte Täuschung an den Präparaten.

Unter all den Theorien nimmt die Morgensterns eine ausnehmende Stellung ein. Seine Untersuchungen weichen von den bisher gefundenen Resultaten sehr stark ab. Sie trägt den Namen Konjugationstheorie und sieht nur die runden, birnen- und rübenförmigen Randgebilde der Pulpa als Zellen an. Die übrigen Formgebilde sind nach ihm durch einen Konjugationsvorgang entstanden. Aus den Zellen, die er Elementarzellen nennt, gehen die Odontoblasten hervor. In Hoehl findet diese Theorie einen Verteidiger, nur daß er den Konjugationsvorgang auf später verlegt. Hoehl unterscheidet Primärodontoblasten, die am äußersten Pulparand liegen, und Secundärodontoblasten, die allerdings einer späteren Periode angehören. Die Secundärodontoblasten sind nach ihm wirkliche Zellen. Walkhoff hat diese Theorie widerlegt. Klein vertritt die Ansicht, daß die Odontoblasten nur die Grundsubstanz des Zahnbeins, aber nicht die Tomesschen Fasern liefern.

Neuerdings hat Weidenreich die Histogenese des Dentins bearbeitet und er bestätigt zum Teil die Ansicht v. Korffs. Nach ihm gehen wirklich von der Pulpa her kollagene Faserbündel zwischen den Odontoblasten und Ameloblasten und bilden das Grundgerüst des Dentins. Sie bilden die erste dünne Schicht des Dentins, d. h. nur das kollagene Geflechtwerk des Dentins. Dies Geflechtwerk wird nach Weidenreich noch in eine homogene Grundsubstanz eingebettet, die von den Odontoblasten geliefert wird. Die Theorie v. Korffs findet nach Weidenreich nur in der äußersten Randschicht des Zahnes ihre Bestätigung. In den pulpawärts gelegenen Partien bilden die Odon-

toblasten zunächst eine einheitliche Masse, aus der sich unverkalkt bleibende Fibrillen und die verkalkende Grundsubstanz herausdifferenzieren. Weidenreich unterscheidet deshalb Mantel- und Zirkumpulpärdentin. Orban glaubt, daß auch das Zirkumpulpärdentin nach der Angabe v. Korffs gebildet wird. Nur hält dieser Autor die v. Korffschen Fibrillen nicht von vornherein für kollagene Fibrillen, sondern sie werden es erst jenseits der Odontoblastenschicht nach der pinselartigen Auffaserung.

Bei all diesen Theorien ist es wieder Walkhoff gewesen, der an Hand vieler Präparate und Bilder viel zur Klärung des Vorgangs der Dentinentwicklung beigetragen hat. Zwischen dem Schmelzorgan und den Bindegewebszellen der Zahnpapillen ist nach diesem Autor eine Grenzlinie. Die Zellen erhalten bald von der Grenzlinie einen Abstand und es bildet sich eine fast strukturlose Interzellularsubstanz. Nur einzelne Zellen zeigen unregelmäßig verlaufende Linien und kleine Körnchen. Die Zellen ordnen sich kurz vor der ersten Dentinablagerung auf der Spitze der Papille und produzieren einen walzenförmigen Protoplasmakörper, den sie bis zur Grenze des Schmelzorgans vorschieben. Jetzt erfolgt die erste Ablagerung von Zahnbein in Form dentinogener Substanz. Nur der vorgeschobene Protoplasmakörper berührt die Grenzschicht des Schmelzorgans, niemals der Kern. Die Protoplasmakörper = Tomessche Fortsätze lassen sich schon im Anfangsstadium der Dentinbildung erkennen. Die Odontoblasten wachsen nun in Länge und Breite und trotzdem vermehrt sich auch an ihren Seiten die Interzellularsubstanz ziemlich stark. Die Odontoblasten werden von jetzt ab schmäler und es erfolgt eine stärkere Vermehrung der Interzellularsubstanz zwischen den Odontoblasten. Die Interzellularsubstanz tritt bis an die Oberfläche des neu gebildeten Zahnbeins. Durch die Interzellularsubstanz sendet jeder Odontoblast auch später nur einen Dentinfortsatz. Walkhoff, der sich besonders gegen die Konjugationstheorie von Morgenstern und Hoehl wendet, kann nirgends einen Konjugationsvorgang finden. Nach diesem Forscher sprechen schon die Lagerungen und Umformungen der Odontoblasten gegen die Konjugationstheorie. Walkhoff unterscheidet nämlich vier Entwicklungsstufen der Odontoblasten:

„1. Die Bildung regellos liegender Rundzellen als jüngste Schicht.

2. Das Ordnen derselben nebeneinander mit beginnender Formation des Zelleibes.

3. Einen walzen- oder zylinderförmigen Bau.

4. Eine Rüben- oder Birnenform der Odontoblasten."

Seine Ergebnisse stellen immer wieder den Satz v. Ebners in den Vordergrund, daß die Dentinbildung bis zum Ende von denselben Odontoblasten besorgt wird. Durch seine Photographien konnte Walkhoff feststellen, daß die Dentinfortsätze röhren-

förmige Gebilde sind, in denen ein feingekörntes Protoplasma ist als direkte Fortsetzung des Protoplasmas im Zelleib der Odontoblasten. Die Röhre selbst ist ebenfalls die Fortsetzung der dünnen Zellmembran der Odontoblasten. „Die Entwicklung der Zahnbeinzwischensubstanz ist allein abhängig von dem Protoplasma des Zelleibes der Odontoblasten." Walkhoff hat nachgewiesen, daß aus den embryonalen Rundzellen des Dentinkeimes erst Odontoblasten werden, wenn ihr protoplasmatischer Zelleib vorhanden ist. Nur diesem verdankt das Zahnbein seine Entwicklung. Walkhoff bekennt sich aufgrund seiner Forschungsergebnisse zu der Theorie v. Ebners, der dieselben Odontoblasten als die Zahnbeinbildner vom Beginn der Ablagerung bis zum Ende betrachtet. Daß Prof. Walkhoff immer wieder zu den Resultaten v. Ebners kam, beweist mir die Richtigkeit der v. Ebnerschen Theorien, die dadurch aufs neue in ihrer Beweiskraft fundamentiert wurden.

Die Zementbildung geht im Wesentlichen nach dem Typus des periostalen Knochens vor sich. Dabei übernimmt die innere Wand des Zahnsäckchens die Rolle des Periostes. Ein Unterschied von der periostalen Knochenentwicklung liegt besonders darin, daß das zementliefernde Periost ursprünglich von der Dentinfläche durch eine doppelte Epithelschicht getrennt ist, die v. Brunn entdeckt hat. Die Zementbildung geht von der inneren Wand des Zahnsäckchens aus, wobei knochenbildende Zellen, die Zementoblasten, die Epithelscheide durchbrechen und zerstören und das Zement auf das Zahnbein ablagern. Es entstehen dabei inselartige Reste von Epithelzellen. Bei der sich entwickelnden Wurzel finden wir die ältesten Stadien der Zementbildung in der Region des Zahnhalses und die jüngsten in der Region des noch offenen Wurzelendes. Zu einer Zeit, zu der in der Gegend des Zahnhalses schon Zementbildung im Gange ist, wird die fortwachsende Wurzel gegen das Ende zu von der Epithelscheide überzogen. Unter der Epithelscheide ist unverkalktes Dentin. Wo nun zuerst die Epithelscheide durchbrochen wird, sieht man Zellen bis an die Oberfläche des Dentins herantreten, die nun auf der Oberfläche des Zahnbeins eine Lage von Osteoblasten oder hier Zementoblasten bilden. Es sind Zellen von vielgestaltiger Form. Dem Knochen zu sind sie verschmälert, während sie mit dem verbreiterten, kernhaltigen Ende vom Knochen abgewandt sind. Kronenwärts liegen die Zementoblasten auf verkalktem Zahnbein und bald wird zwischen der Dentinoberfläche und den Zementoblasten eine dünne, homogen erscheinende, unverkalkte Zementschicht sichtbar. Schon bald erscheint diese Schicht positiv doppelbrechend und mit senkrecht zur Oberfläche gerichteter optischer Achse. Daraus lassen sich die senkrecht zur Oberfläche verlaufenden Fibrillen nachweisen. Durch diese Fibrillenbündel unterscheidet sich das Zement bedeutend vom Knochengewebe. Nach

v. Ebner lassen sich schon Fibrillen nachweisen, wenn an dem bereits verkalkten Kieferknochen ein glänzender Saum auftritt. Aus diesem Saum sieht man an vielen Stellen dickere und dünnere noch nicht verkalkte Fibrillenbündel hervorragen. Diese verlieren sich in dem angrenzenden Weichgewebe und stellen die Sharpeyschen Fasern in ihrem Entwicklungsstadium dar. Zwischen diesen Fasern liegen am unverkalkten Knochensaum die Osteoblasten. Das Zement erhält bei fortschreitender Verdickung immer mehr nach der Wurzelspitze zu den Charakter lamellösen Knochengewebes. Die das Zement bildenden Osteoblasten sind nicht in die Zementgrundsubstanz eingeschlossen. Auch im vorgeschrittenen Stadium der Zententwicklung zeigt sich eine massenhafte Entwicklung der Sharpeyschen Fasern. Später vereinigen sie sich mit Sharpeyschen Fasern an der Alveolarwand und gehen in die eigentlichen Sharpeyschen Fasern der Wurzelhaut über. Zwischen Dentin und Zement besteht kein Übergang, wohl eine innige Verklebung zwischen der äußersten Schicht des Dentins und der innersten Lage des Zements. Erst sekundär können sich Verbindungen zwischen den Knochenkanälchen des Zements und den Dentinkanälchen ausbilden. Dem primären oder auch zellfreien Zement wird in der apikalen Gegend und in der Bifurkation mehrwurzeliger Zähne das sekundäre oder zellhaltige Zement aufgelagert. Dies entsteht analog der Knochenbildung. Einzelne Zellen lösen sich aus der Reihe der Zementoblasten und lassen sich einschließen. Nicht alle eingeschlossenen Zellen bleiben Zementzellen, sondern ein Teil der eingeschlossenen Zellen „verdämmert" gewissermaßen und wird zur Zementgrundsubstanz analog der Knochenbildung. Die peripherste Schicht bleibt unverkalkt und heißt Zementoid. Während die Innenseite des Zahnsäckchens das Zement bildet, entsteht an der Außenseite die Alveole.

Zum Schluß erlaube ich mir, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. Münch für die freundliche Überlassung des Themas herzlichen Dank zu sagen.

Ich versichere ehrenwörtlich, daß ich vorliegende Arbeit selbständig verfaßt und außer der angegebenen Literatur keine fremden Hilfsmittel benutzt habe.

Albert Weismantel.

Literatur.

Otto Walkhoff: „Die normale Histologie menschlicher Zähne."

Julius Scheff: „Handbuch der Gewebelehre." I. Band.

Viktor v. Ebner: „Koellikers Handbuch der Gewebelehre des Menschen." III. Band.

Wilhelm Meyer: „Lehrbuch der normalen Histologie und Entwicklungsgeschichte der Zähne des Menschen."

Gustav Preiswerk: „Lehrbuch und Atlas der Zahnheilkunde mit Einschluß der Mundkrankheiten."

Lebenslauf.

Ich wurde am 5. Dezember 1906 als fünfter Sohn des Bauers Karl Weismantel und seiner Gemahlin Viktoria, geb. Maiberger in Oberndorf, Kreis Gelnhausen geboren. Nach Erledigung der 8 Volksschulklassen ging ich in die deutsche Schule Watersleyde in Holland. Dieses deutsche Gymnasium besuchte ich bis einschließlich Obersekunda, worauf ich in das staatliche Gymnasium in Hadamar b. Limburg kam. Nach zwei Jahren machte ich dortselbst die Reifeprüfung und widmete mich darauf fünf Semester der Theologie an der philosophisch-theologischen Lehranstalt in Fulda. Darauf wechselte ich mein Studium und besuchte die Universität Würzburg zum Studium der Zahnheilkunde. Zur vorgeschriebenen Zeit machte ich Physikum und Staatsexamen. Seit dem Staatsexamen an Ostern 1933 arbeite ich als Assistent in Schweinfurt.

Albert Weismantel.